

01; 09

© 1992

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫМИ РЕЖИМАМИ С ПОМОЩЬЮ ОДИНОЧНЫХ РАДИОИМПУЛЬСОВ

Э.В. К а л ь я н о в, С.О. С т а р к о в

Использование внешнего воздействия для управления колебательными режимами (как простыми, так и сложными) исследовалось в ряде работ [1-6]. При этом основное внимание уделялось характеру воздействия (регулярному или шумовому), его амплитудным и частотным свойствам. Вопрос о длительности воздействующего сигнала оставался в тени, тогда как для решения многих задач управления этот параметр является не менее важным. В настоящей работе приводятся результаты численного анализа особенностей стимулирования переходов колебаний с одной частоты на другую при воздействии на автоколебательную систему одиночного радиоимпульса. Показано нетривиальное влияние длительности и фазы воздействия.

Анализ возможности стимулирования переходов колебаний при воздействии радиоимпульса проводился на модели неавтономной автоколебательной системы, состоящей из усилителя, с выхода которого колебания подаются на вход через цепь, содержащую дифференцирующий элемент, фильтр второго порядка, линию задержки и фильтр первого порядка. Дифференциальные уравнения такой системы при вводе внешнего сигнала на вход фильтра второго порядка можно представить в виде

$$\ddot{x}(t) + \frac{\omega}{Q} \dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = \frac{\omega^2}{\mathcal{G}} \frac{d}{dt} F(y) + \omega^2 \beta f(t), \quad (1a)$$

$$\delta \dot{y}(t) + y(t) = x(t - \tau). \quad (1б)$$

Здесь ω, Q - собственная частота и добротность колебательного контура; \mathcal{G}, \mathcal{S} - постоянные времени дифференцирующего элемента и контура; τ - время запаздывания в линии задержки; $F(y)$ - функция, имеющая вид

$$F(y) = B(y + \alpha)^2 \exp(-(y + \alpha)),$$

где B - коэффициент усиления, α - постоянная смещения. При этом внешний одиночный радиоимпульс определялся соотношением

$$f(t) = 0.25(1 + \text{th}(t - t_0))(1 - \text{th}(t - (t_0 + t_1))) \sin \omega_1 t,$$

где τ_0 — длительность радиоимпульса, t_0 — момент начала воздействия, ω_1 — несущая частота воздействующих колебаний.

Расчеты проводились при значениях $B_0 = 3$, $Q = 2$, $\alpha = 1.2$, $\xi = 0.1$, $\omega = 1$. При этом полагалось, что $B = \epsilon B_0$. Величины t_0 , τ_0 , τ , ω_1 , β изменялись. При выбранных значениях фиксированных параметров генератор вблизи значения $\tau = 9$ обладает неустойчивым режимом. При $\tau = \tau_1 = 9$ он возбуждается на частоте $\omega_0' = 0.76$, а при $\tau = \tau_2 = 9.005$ — на частоте $\omega_0'' = 1.3$. Подвозбуждение автоколебаний непрерывным гармоническим сигналом ($t - t_0 = \tau_0 = 0$) приводит при $\tau = \tau_1$, $\omega_1 = 1.3$ к установлению автоколебаний на этой частоте и, наоборот, подвозбуждение на частоте $\omega_1 = 0.76$ при $\tau = \tau_2$ способствует установлению автоколебаний частоты $\omega_0' = 0.76$. При этом значение β невелико. Естественно ожидать, что при воздействии радиоимпульсом эффективность подвозбуждения может зависеть не только от амплитуды воздействующего сигнала соответствующей частоты, но и от длительности воздействия, причем с ростом длительности импульса эффективность воздействия должна усилиться. При численном анализе обнаружен обратный эффект: при увеличении длительности импульса воздействующих колебаний подвозбуждение может оказаться невозможным, тогда как при меньшей длительности стимулирование перехода имеет место. Иными словами, при импульсном радиочастотном воздействии имеет существенное значение не только амплитуда и частота воздействующих колебаний, но также и их длительность. Последнее иллюстрируется рис. 1, на котором приведены реализации колебаний при двух длительностях импульсов одиночного воздействия (рис. 1, а, $\tau_0 = 30$; рис. 1, б, $\tau_0 = 40$) при моменте начала воздействия $t_0 = 610$. При $\tau_0 = 30$ ($\omega_1 = 1.3$) радиоимпульс содержит примерно 6 периодов колебаний, а при $\tau_0 = 40$ — 8. На реализации рис. 1, а видно, что до момента воздействия импульса существуют регулярные колебания частоты ω_0' (показан один период колебаний), а после воздействия импульса наблюдается переходной процесс установления колебаний частоты ω_0'' , подвозбуждаемых колебаниями несущей частоты радиоимпульса. Процесс установления автоколебаний частоты ω_0'' заканчивается при $t \approx 700$ (на рис. 1, а не показано). В интервале времени, соответствующем воздействию колебаний радиоимпульса, имеет место сложный неперiodический процесс. При воздействии радиоимпульса большей длительности с той же несущей частотой подвозбуждения фрагмент реализации (рис. 1, б) до момента $t = t_0 + 30$ совпадает с представленной на рис. 1, а, что естественно, и существенно отличается при $t > 640$. При этом, в противоположность ожиданию сокращения переходного процесса установления колебаний частоты ω_0'' , происходит возврат к колебаниям на частоте ω_0' . Процесс установления колебаний на этой частоте завершается при $t \approx 1000$ (на рис. 1, б не показано). Ухудшение условий стимулирования перехода колебаний с одной частоты на другую с увеличением длительности стимула наблюдается и при других начальных фазах воздействия. Более того, наблю-

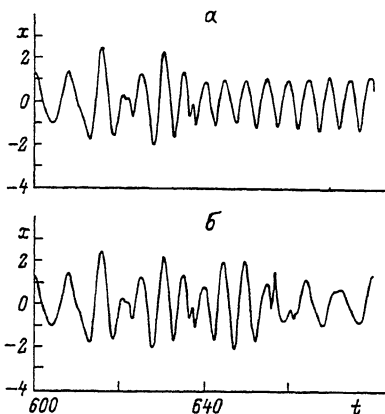


Рис. 1. Реализации колебаний при длительностях воздействия $\tau_0 = 30$ (а) и $\tau_0 = 40$ (б).

дается периодическое изменение условий подвозбуждения при непрерывном увеличении длительности импульса. Таким образом, на эффективность стимулирования перехода влияет начальная фаза воздействия и момент прекращения воздействия; длительность воздействия не определяет однозначно условия подвозбуждения. Естественно, что на траекторию движения в интервале времени воздействия влияет интенсивность воздействия, определяемая величиной β . При заданных величинах τ_0, ω_1 и β эффективность стимулирования перехода определяется динамикой переходного процесса, вызванного внешним сигналом. Аттракторы автономных колебаний на частотах ω'_0 и ω''_0 занимают различные области фазового пространства (рис. 2, а). При этом фазовые траектории проходят вблизи сепаратрисной поверхности, разделяющей бассейны притяжения различных аттракторов. Внешнее воздействие приводит к ее разрушению и возникновению сложного движения, охватывающего оба аттрактора (рис. 2, б). При прекращении воздействия определяющее значение приобретает местонахождение изображающей точки фазовой траектории. Если в момент окончания действия радиоимпульса система находится в бассейне притяжения первого аттрактора (колебания с частотой ω'_0), то по окончании переходного процесса она „свалится“ на этот аттрактор (кривая 1, рис. 2, а). В противном случае произойдет переход к колебаниям частоты ω''_0 (кривая 2, рис. 2, а). Аналогичные описанным переходы наблюдаются при воздействии одиночного радиоимпульса с несущей частотой $\omega_1 = 0.76$, когда автономно колебания возбуждаются на частоте $\omega''_0 = 1.3$ при $\tau = 9.005$. Воздействие одиночного радиоимпульса с несущей частотой $\omega_1 = 0.76$ либо способствует переходу, либо нет, в зависимости от фазы, амплитуды и длительности воздействия. Частота генерации колебаний после воздействия определяется предысторией движения системы в фазовом

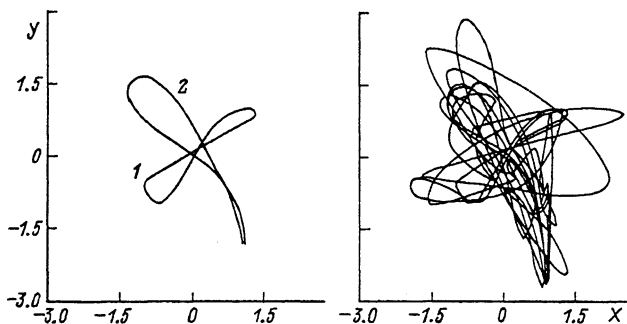


Рис. 2. Аттракторы колебаний при автономной работе (а) на частотах ω_0' (кривая 1) и ω_0'' (кривая 2) и при воздействии радиопульса с длительностью $\tau_0 = 30$ (б).

пространстве к моменту окончания воздействия, которая зависит от начальной фазы воздействия, длительности импульса, и, естественно, от амплитуды несущих колебаний.

В заключение заметим, что существенную роль играет регулярность воздействующих колебаний. При шумовых или шумоподобных колебаниях правильный выбор длительности импульса не представляется возможным. Напротив, характер самих управляемых колебаний не ограничивается простыми аттракторами и полученные результаты могут быть распространены на случаи, когда в качестве одного из опорных автономных режимов выступает режим странного аттрактора.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л а н д а П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980. 360 с.
- [2] Б л е х м а н И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. 352 с.
- [3] Ж е л е з о в с к и й Е.Е., К а л ь я н о в Э.В. Многочастотные режимы в приборах СВЧ. М.: Связь, 1978. 256 с.
- [4] А н и щ е н к о В.С., А р а н с о н И.С., П о с т н о в Д.Э., Р а б и н о в и ч М.И. // Докл. АН СССР. 1986. Т. 286. С. 1120-1124.
- [5] К а л ь я н о в Э.В., С т а р к о в С.О. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 11. С. 961-964.
- [6] В а в р и в Д.М., Р я б о в В.Б. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. № 11. С. 55-59.

Институт радиотехники
и электроники РАН
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
15 августа 1992 г.